**PCT** WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G02B 6/10

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/44367

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 8. Oktober 1998 (08.10.98)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/00905

(22) Internationales Anmeldedatum: 26. März 1998 (26.03.98)

(30) Prioritätsdaten:
197 13 371.1 29. März 1997 (29.03.97) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: DEUTSCHE TELEKOM AG [DE/DE]; Friedrich-Ebert-Allee 140, D-53113 Bonn (DE). OFT ASSOCIATES [US/US]; 77 Daventry Hill Road, Avon, CT 06001 (US).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: MELTZ, Gerald [US/US]; 77 Daventry Hill Road, Avon, CT 06001 (US). KOOPS, Hans, W., P. [DE/DE]; Ernst-Ludwig-Strasse 16, D-64372 Ober-Ramstadt (DE).

(74) Anwalt: GORNOTT, Dietmar; Zilleweg 29, D-64291 Darmstadt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

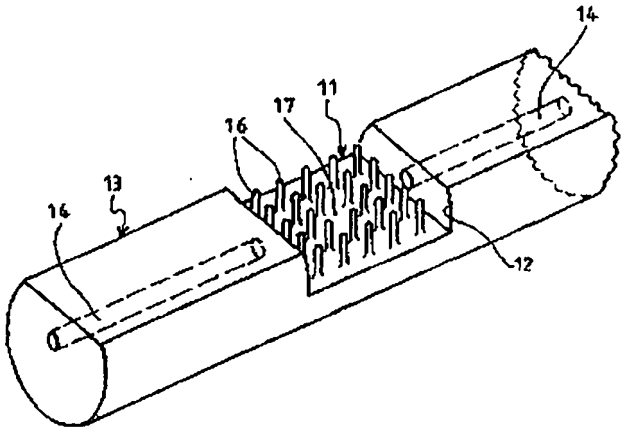
Veröffentlicht
*Mit internationalem Recherchenbericht.*
*Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.*

(54) Title: FIBER-INTEGRATED PHOTON CRYSTALS AND SYSTEMS

(54) Bezeichnung: FASER-INTEGRIERTE PHOTONENKRISTALLE UND -SYSTEME

(57) Abstract

According to the invention, one or several photon crystals (11, 22, 40, 58, 59) are formed directly in the optical path inside an optical fiber (13, 23, 42, 56). The light processed by the photon crystal can be transmitted from the fiber by means of a lens (48), or can be measured with a photo resistor device (51, 60). The photon crystal can be provided in the form of an arrangement of dielectric rods (16) in a trench-shaped recess (12) and may have one or several defects (17), or may be formed by holes (20) provided directly in the optical fiber. By filling the spaces between the rods (16) with a non-linear optical material and exposing the crystal to a variable electric field, said electric field being connected via electrodes, or to variable optical radiation, it is possible to produce a tuneable photon crystal inside an optical fiber. Due to the variety of possible applications for photon crystals and non-linear optical elements as well as photo-sensitive devices, it is also possible to create optical measuring systems in the trench-shaped recess in the fiber using this technology.



(57) Zusammenfassung

Ein oder mehrere Photonenkristalle (11, 22, 40, 58, 59) werden direkt im Lichtweg im Innern einer optischen Faser (13, 23, 42, 56) gebildet. Das von dem Photonenkristall verarbeitete Licht kann mittels einer Linse (48) aus der Faser übertragen werden oder es kann mit einer Photowiderstandsvorrichtung (51, 60) gemessen werden. Der Photonenkristall kann in einem grabenförmigen Einschnitt (12) als eine Anordnung von dielektrischen Stäbchen (16) gebildet werden und einen oder mehrere Defekte (17) haben, oder der Kristall kann gebildet werden, indem Löcher (20) direkt in der optischen Faser vorgesehen werden. Indem man die Zwischenräume zwischen den Stäbchen (16) mit nichtlinearem optischem Werkstoff füllt und den Kristall einem sich verändernden, über Elektroden angelegten elektrischen Feld oder einer sich ändernden optischen Strahlung aussetzt, kann man einen abstimmbaren Photonenkristall im Innern einer optischen Faser herstellen. Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Photonenkristallen und nichtlinearen optischen Elementen sowie photoempfindlichen Vorrichtungen ist es möglich, mit dieser Technologie optische Meßsysteme in dem grabenförmigen Einschnitt in der Faser zu verwirklichen.

*LEDIGLICH ZUR INFORMATION*

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AL | Albanien | ES | Spanien | LS | Lesotho | SI | Slowenien |
| AM | Armenien | FI | Finnland | LT | Litauen | SK | Slowakei |
| AT | Österreich | FR | Frankreich | LU | Luxemburg | SN | Senegal |
| AU | Australien | GA | Gabun | LV | Lettland | SZ | Swasiland |
| AZ | Aserbaidschan | GB | Vereinigtes Königreich | MC | Monaco | TD | Tschad |
| BA | Bosnien-Herzegowina | GE | Georgien | MD | Republik Moldau | TG | Togo |
| BB | Barbados | GH | Ghana | MG | Madagaskar | TJ | Tadschikistan |
| BE | Belgien | GN | Guinea | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | | | TR | Türkei |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | ML | Mali | TT | Trinidad und Tobago |
| BJ | Benin | IE | Irland | MN | Mongolei | UA | Ukraine |
| BR | Brasilien | IL | Israel | MR | Mauretanien | UG | Uganda |
| BY | Belarus | IS | Island | MW | Malawi | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada | IT | Italien | MX | Mexiko | | |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan | NE | Niger | UZ | Usbekistan |
| CG | Kongo | KE | Kenia | NL | Niederlande | VN | Vietnam |
| CH | Schweiz | KG | Kirgisistan | NO | Norwegen | YU | Jugoslawien |
| CI | Côte d'Ivoire | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | NZ | Neuseeland | ZW | Zimbabwe |
| CM | Kamerun | | | PL | Polen | | |
| CN | China | KR | Republik Korea | PT | Portugal | | |
| CU | Kuba | KZ | Kasachstan | RO | Rumänien | | |
| CZ | Tschechische Republik | LC | St. Lucia | RU | Russische Föderation | | |
| DE | Deutschland | LI | Liechtenstein | SD | Sudan | | |
| DK | Dänemark | LK | Sri Lanka | SE | Schweden | | |
| EE | Estland | LR | Liberia | SG | Singapur | | |

# Faser-integrierte Photonenkristalle und -systeme

## Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft optische Verarbeitungssysteme, die direkt in und auf optischen Fasern gebildet werden, und beinhaltet Photonenkristalle, die direkt im Lichtweg einer optischen Faser gebildet werden.

## Stand der Technik

Bekanntlich kann man mit Photonenkristallen wellenlängenabhängige Filter, Strahlenteiler, Spiegelkomponenten und rechtwinklige Wellenleiter zur Verfügung stellen. Als Beispiel hierfür sei verwiesen auf A. Mekis, et al., "High Transmission Through Sharp Bends in Photonic Crystal Waveguides", Physical Review Letters, V. 77, N. 18, 28 October 1996, pp. 3787-3790, und auf H. W. P. Koops, "Photonic Crystals Built by 3-Dimensional Additive Lithography Enable Integrated Optics of High Density", in Photorefractive Fiber and Crystal Devices; Materials, Optical Properties, and Applications II, (F.T.S. Yu, S. Yen, Editors) Proceedings Society Photographic and Instrumentation Engineering, Volume 2849, August 1966, pp. 248-256. Weil Photonenkristalle jeweils in zwei Hauptdimensionen in der Größenordnung von mehreren Wellenlängen liegen und unter Einsatz von Mikrobearbeitungstechniken hergestellt werden, können optische Verarbeitungssysteme, bei denen Photonenkristalle

...

verwendet werden, extrem klein sein und dadurch eine extrem hohe Bitdichte und hohe Verarbeitungsdatenraten ermöglichen.

Wie bereits von Koops (a.a.O.) herausgestellt wurde, liegt ein Hauptnachteil in dem gewaltigen Problem der Kopplung von Licht zwischen Wellenleitern und Photonenkristallen.

Darstellung der Erfindung

Die Gegenstände der Erfindung umfassen das Koppeln von Licht direkt zwischen optischen Wellenleitern und Photonenkristallen, die Bereitstellung von optischen Signalprozessoren, die optische Signale bei minimalen Verlusten manipulieren, optische Signalverarbeitung, die mit einem Minimum an beigeordneten Vorrichtungen realisiert wird, und integrierte optische Signalverarbeitungssysteme in Mikrominiaturausführung.

Nach der vorliegenden Erfindung wird ein Photonenkristall direkt im Lichtweg innerhalb einer optischen Faser gebildet, wodurch das Licht direkt zwischen dem von der Faser gebildeten optischen Wellenleiter und dem von dem Photonenkristall gebildeten optischen Signalprozessor gekoppelt wird. Nach einer Form der Erfindung wird ein Schlitz oder grabenförmiger Einschnitt von einer äußeren Kante einer optischen Faser durch einen bedeutenden Teil der Faser und bis in und über den Faserkern hinaus gebildet, und der optische Kristall wird in diesem Raum gebildet, was zur Folge hat, daß er sich direkt im Weg des Lichtes befindet, das durch die optische Faser hindurchgeht.

In der ersten Realisierung kann der Photonenkristall vorzugsweise aus dielektrischen Stäbchen gebildet werden, die zum Beispiel unter Einsatz von dreidimensionaler additiver Lithographie in einem definierten geometrischen

...

Muster gebildet werden, das die Kenndaten, Wellenlänge und Bandbreite der resultierenden Photonenkristallvorrichtung bestimmt. Nach einer anderen Form der Erfindung wird ein Photonenkristall direkt in einer optischen Faser gebildet, indem im wesentlichen zylindrische säulenförmige Löcher in ein Photonenkristallmuster, das vom gewünschten Effekt und den gewünschten Wellenlängen abhängt, direkt bis in die optische Faser gebohrt werden, und zwar von einer Außenkante durch einen bedeuten Teil der Faser bis in und über den Faserkern hinaus.

Nach der Erfindung enthalten die Zwischenräume zwischen den in einem grabenförmiger Einschnitt innerhalb einer optischen Faser gebildeten dielektrischen Stäbchen einen nichtlinearen optischen Werkstoff, der eine elektrisch steuerbare oder optisch steuerbare Dielektrizitätskonstante hat, um in der Wellenlänge steuerbare Photonenkristalle bereitzustellen, zum Beispiel für den Einsatz als selektiv betreibbarer Schalter.

Darüber hinaus können nach der Erfindung innerhalb einer optischen Faser Photonenkristalle zusammen mit anderen Photonenkristallen oder anderen optischen Vorrichtungen gebildet werden, um so mikrooptische Systeme direkt in der Faser bereitzustellen. Desweiteren kann nach der Erfindung ein direkt in einer optischen Faser gebildeter Photonenkristall einem photoelektrischen Element, zum Beispiel einer photoempfindlichen Widerstandsschicht, zugeordnet werden, um so elektrische Ausgangssignale aus dem optischen Verarbeitungssystem innerhalb der Faser abzuleiten. Auf der Faser angeordnete Linsen können verwendet werden, um Licht zu und von einem faser-integrierten Photonenkristall zu übertragen.

...

Weitere Gegenstände, besondere Kennzeichen und Vorteile der Erfindung werden anhand der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung von exemplarischen Realisierungen der Erfindung und anhand der beigefügten Figuren ersichtlich.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1: Perspektivische Ansicht eines schmalbandigen Filters in einem grabenförmiger Einschnitt in eine optische Faser mit D-Profil; der Photonenkristall umfaßt dielektrische Stäbchen, die unter Einsatz von dreidimensionaler additiver Lithographie gebildet wurden.

Figur 2: Perspektivische Ansicht eines schmalbandigen Filters, bei dem der Photonenkristall gebildet wird, indem man direkt in der optischen Faser im wesentlichen zylindrische Löcher herstellt.

Figur 3: Ansicht eines Endes einer runden optischen Faser, die einen in ihrem Innern angeordneten elektrisch veränderbaren Photonenkristall hat.

Figur 4: Seitenansicht der runden optischen Faser und des Photonenkristalls von Figur 3.

Figur 5: Ansicht von oben auf einen Photonenkristall in einer optischen Faser, die eine auf ihrem Umfang gebildete Linse hat.

Figur 6: Ansicht von oben auf einen Photonenkristall in einer optischen Faser, die eine auf ihrem Umfang angeordnete photoelektrische Schicht hat.

...

Figur 7: Perspektivische Ansicht einer optischen Faser, die mehrere Photonenkristalle und andere Elemente hat, zum Beispiel eine photoelektrische Schicht und einen Film mit gleichem Brechungsindex, die in ihrem Inneren gebildet wurden.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1: Ein Photonenkristall 11 wird in einem grabenförmigen Einschnitt 12 in einer optischen Faser 13 mit einem Faserkern 14 gebildet. Der Photonenkristall 11 umfaßt mehrere dielektrische Stäbchen 16, die in diesem Fall in einer rechtwinkligen Matrix mit einem Defekt, in diesem Fall das Nichtvorhandensein eines dielektrischen Stäbchens, in der Mitte 17 der Anordnung angeordnet sind. Der Photonenkristall 11 in der abgebildeten Konfiguration umfaßt ein schmalbandiges Filter. Im generellen Fall können die Zwischenräume zwischen den dielektrischen Stäbchen 16 auf Wunsch zur Erhöhung der Festigkeit mit amorphem oder mikrokristallinem Polymer hinterfüllt werden; jedoch kann die Erfindung auch ohne Hinterfüllung in die Praxis umgesetzt werden, falls dies gewünscht wird. Der grabenförmige Einschnitt 12 kann sich über einige wenige Mikrometer über die Länge der Faser 13 erstrecken. Er kann in der Faser durch den Einsatz von Lithographie, Trocken- oder Naß-Ätztechnik oder durch Laser- oder Ionenablation gebildet werden. Bei der optischen Faser 13 in Figur 1 handelt es sich um eine Faser mit D-Profil, in der das Licht durch den monomodalen Kern 14 nahe an der geraden Oberfläche übertragen wird; das ürsprüngliche D-Profil der Faser gestattet ein einfaches Entfernen des Materials, um einen angemessenen grabenförmigen Einschnitt zu bilden.

Figur 2: Bei einer weiteren Realisierung d r Erfindung wird ein Photonenkristall 11 direkt in der optischen Faser 13 gebildet, indem einfach mehrere im wesentlichen zylindrische Löcher 20 in einem definierten geometrischen Muster in das optische Fasermaterial gebohrt werden. Der Photonenkristall 11 in Figur 2 ist ein schmalbandiges Filter (ähnlich dem in Figur 1), wobei der Defekt darin besteht, daß in der Mitte 17 der Matrix kein Loch vorhanden ist. Somit wird nach der Erfindung ein Photonenkristall direkt in eine optische Faser plaziert, wobei die Art der Ausführung in Bezug auf die Erfindung nicht relevant ist.

Figur 3 und 4: Der Photonenkristall 22 wird in einer runden optischen Faser 23 gebildet. Der Photonenkristall 22 kann in einem grabenförmigen Einschnitt 27 (wie in Figur 1) gebildet werden, wobei die Zwischenräume 28 zwischen den dielektrischen Stäbchen 29 teilweise oder ganz mit nichtlinearem optischem Werkstoff gefüllt sind. Vor der Bildung der Photonenkristalle 22 wird auf dem Boden des grabenförmigen Einschnitts 27 eine elektrisch leitende Schicht 32 bereitgestellt, die sich im wesentlichen über das Gesamtausmaß erstreckt, das der Photonenkristall 22 einnehmen wird. Nach dem Füllen mit nichtlinearem optischen Werkstoff wird eine weitere elektrisch leitende Schicht 33 gebildet. Die Schichten 32 und 33 enden extern in Kontaktstellen 34, an die elektrische Anschlußdrähte 35 mittels Wire-Bonding-Technik angebracht werden können. Durch Änderung des elektrischen Feldes zwischen den leitfähigen Schichten 32, 33 werden die optischen Eigenschaften, insbesondere die Brechzahlen, der verschiedenen Teile des Photonenkristalls 22 verändert, wodurch sich die Kenndaten oder die kritischen Wellenlängen der Vorrichtungen so ändern, wie es in der deutschen Patentanmeldung 195 42 058.6 vom 10. November 1995 offenbart wird. Aus Figur 3 und 4 geht außerdem hervor, daß die vorliegende Erfindung, mit der Photonenkristalle direkt in optischen Fasern gebildet

...

werden, sowohl in runden optischen Fasern als auch in in solchen mit D-Profil in die Praxis umgesetzt werden kann.

Statt Elektroden und eine veränderbare Spannung zum Abstimmen des nichtlinearen optischen Werkstoffes zu verwenden, kann man den nichtlinearen optischen Werkstoff auch mit Licht aus einer externen Lichtquelle durchfluten, indem man wie in unserem früheren gleichzeitig anhängigen Antrag Linsen verwendet oder indem man ihn parallel zum Kern und außerhalb des Kerns der optischen Faser beleuchtet, ähnlich wie es in bekannter Weise bei optisch gepumpten Lasern gemacht wird.

Figur 5: Ein Photonenkristall 40 wird in einem grabenförmigen Einschnitt 41 einer optischen Faser 42 gebildet, die einen Kern 43 hat. Der Photonenkristall 40 umfaßt Säulen mit unterschiedlicher Brechzahl 45, die entweder dielektrische Stäbchen (16 in Figur 1) oder Löcher (20 in Figur 2) umfassen können, die in Figur als leere Kreise dargestellt sind. Die Defekte werden in Figur 5 in Form von durchgestrichenen Kreisen 46 angegeben. Das Muster in Figur 5 soll keine besondere Funktion darstellen, sondern lediglich Photonenkristalle im Allgemeinen veranschaulichen. Es kann jedoch ein derartiges Muster vorgelegt werden, mit dem eine Drop-Funktion (oder, weil ja die optischen Bauelemente reversibel sind, eine Add-Funktion) zur Verfügung gestellt wird, in der Licht mit einer bestimmten Frequenz i durch einen rechten Winkel gesteuert werden kann, um durch eine Linse 48 hindurchzutreten, die direkt auf der Seite der optischen Faser 42 gebildet wird, und zwar unter Verwendung des Trockenlackverfahrens, das in der deutschen Patentanmeldung 195 31 860.9 vom 30. August 1995 offenbart wurde, oder unter Verwendung von Prinzipien aus der deutschen Patentanmeldung 197 13 374.6 vom 29. März 1997, oder der entsprechenden US-Patentanmeldung Serial No. 08/883,066, eingereicht am 18. Dezember 1997. Das durch die

...

Linse 48 aus dem Photonenkristall 40 austretende (oder in ihn eintretende) selektierte Licht wird durch eine ähnliche Linse auf der Seite einer anderen optischen Faser in diese andere optische Faser geleitet oder es kann am Ende einer optischen Faser oder ähnlichem fokussiert werden. Die Art der Verwendung von Licht, das durch einen Photonenkristall verarbeitet wurde, ist belanglos für die Erfindung, da es sich bei der Erfindung um die Plazierung des Photonenkristalls direkt in einer optischen Faser handelt.

Figur 6: Bei einem weiteren Verfahren zur Verwendung von Licht, das durch einen Photonenkristall verarbeitet wurde, ist eine an der Kante der optischen Faser 42 gebildete Photowiderstandsschicht 50 inbegriffen, die elektrisch mit Kontaktstellen 51 in Verbindung steht, auf die elektrische Anschlußdrähte mittels Wire-Bond-Technik aufgebracht werden können. Auf diese Weise werden von der Photowiderstandsschicht 50 elektrische Signale geliefert, die die Stärke der von dem Photonenkristall 40 extrahierten Wellenlänge angeben, so wie es in der deutschen Patentanmeldung 196 21 175.1 vom 24. März 1996 offenbart wurde.

Figur 7: Eine optische Faser mit D-Profil 56 und einem in ihr enthaltenen Kern 57 ist mit mehreren Photonenkristallen 58, 59 sowie mit einer Photowiderstandsschicht 60 direkt im Weg des Lichts im Innern der optischen Faser 56 versehen. In diesem Fall dient die Photowiderstandsschicht 60 zur Messung der Größe des in der Faser verbleibenden Lichts. Die elektrischen Anschlüsse für die Schicht 60 sind in Figur 7 zur besseren Übersichtlichkeit weggelassen worden. Von größerer Bedeutung ist, daß eine zusätzliche Beschichtung oder Schicht 51 von Photonenstäbchenmaterial, zum Beispiel geeignetes, entsprechend dotiertes Polymer, spezielle Abschwächungs- oder Verringerungsfunktionen, insbesondere zur Brechindexanpassung, bieten kann, um Reflexionen an der

...

Schnittstelle zwischen Faser und Kristall zu verringern. Solche Schichten können auch hinter dem Kristall (dort, wo die Schicht 60 abgebildet ist) oder zwischen den Kristallen sein. Die vorliegende Erfindung, mit der die Photonenkristalle entweder einzeln oder in Kombination mit anderen Photonenkristallen oder optischen oder optoelektronischen Elementen oder Schichten direkt im Innern einer optischen Faser gebildet werden, kann auf sehr komplexe Weise durch das Bereitstellen derartiger optischer Vorrichtungen in zwei oder mehreren Fasern kombiniert werden und zwischen diesen Licht koppeln und in bestimmten Fällen das Licht nach getrennt erfolgter Verarbeitung wieder zusammenführen. Anders ausgedrückt liefert die Erfindung die Mittel, nämlich Photonenkristalle im Innern von Faseroptiken, um sehr komplexe optische Systeme in mikrominiaturisierter Form herzustellen.

Alle zuvor erwähnten Patentanmeldungen werden in diesen Antrag durch Bezugnahme aufgenommen.

Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf beispielhafte Realisierungen dargestellt und beschrieben wurde, sollte jedem mit entsprechenden technischen Kenntnissen klar sein, daß die o.g. und zahlreiche andere Änderungen, Weglassungen und Hinzufügungen daran vorgenommen werden können, ohne dadurch vom Geist und Geltungsbereich der Erfindung abzuweichen.

Ansprüche

1. Photonenkristall, der direkt im Lichtweg innerhalb einer optischen Faser (13, 23, 42, 56) gebildet wird.

2. Photonenkristall nach Anspruch 1, bei dem der Photonenkristall (11, 22) mehrere dielektrische Stäbchen (16) umfaßt, die in einem grabenförmigen Einschnitt (12) in der optischen Faser (13) gebildet werden.

3. Photonenkristall nach Anspruch 2, bei dem die Zwischenräume zwischen den dielektrischen Stäbchen (16) zur Unterstützung mit amorphem Polymerwerkstoff gefüllt sind.

4. Photonenkristall nach Anspruch 2, bei dem die Zwischenräume (28) zwischen den dielektrischen Stäbchen (29) einen nichtlinearen optischen Werkstoff enthalten.

5. Photonenkristall nach Anspruch 4, der ferner ein Paar Elektroden (32, 33) umfaßt, die nahe bei gegenüberliegenden Enden der dielektrischen Stäbchen (29) angeordnet sind, um an den nichtlinearen optischen Werkstoff ein elektrisches Feld anzulegen und dadurch die Kenndaten des Photonenkristalls (22) zu verändern.

6. Photonenkristall nach Anspruch 4, bei dem die Kenndaten des Photonenkristalls (22) durch selektive Beleuchtung des nichtlinearen optischen Werkstoffs mit Licht verändert werden.

...

7. Photonenkristall nach Anspruch 1, bei dem der Photonenkristall (11) gebildet wird, indem Löcher (20) in einem gewünschten Muster vorgesehen werden, das den Weg des Lichts in der optischen Faser (13) einschließt.

8. Photonenkristall nach Anspruch 1, der eine Photowiderstandsschicht (50) zum Messen der Größe des durch einen Teil des Photonenkristalls (40) hindurchgehenden Lichts enthält.

9. Photonenkristall nach Anspruch 8, bei dem die Photowiderstandsschicht (50) auf einer Fläche der optischen Faser (42) gebildet wird, um die Größe des Lichts zu messen, das zwischen der Fläche und einem Teil des Photonenkristalls (40) hindurchtritt.

10. Photonenkristall nach Anspruch 8, bei dem die Photowiderstandsschicht direkt im Weg des Lichts im Innern der optischen Faser gebildet wird.

11. Photonenkristall nach Anspruch 1, der einen zweiten Photonenkristall (59) enthält, der in der Nachbarschaft des ersten Photonenkristalls (58) in der optischen Faser (56) gebildet wird.

12. Photonenkristall nach Anspruch 1, der zusammen mit mindestens einem weiteren Photonenkristall, nichtlinearen optischen Vorrichtungen und Photowiderständen eine optische Meßvorrichtung zum Messen bestimmter Kenndaten des Lichts in der Faser bildet, zum Beispiel Polarisierung, Amplitude und/oder Pulsfolge, und die in einem grabenförmigen Einschnitt in der Faser hergestellt wird.

13. Photonenkristall nach Anspruch 1, der eine Linse (48) zum Fokussieren des Lichts enthält, das zwischen der Oberfläche der optischen Faser (42) und einem Teil des

...

Photonenkristalls (40) hindurchgeht.

14. Photonenkristall nach Anspruch 1, der eine Schicht aus Photonenstäbchenwerkstoff an einer Schnittstelle zwischen dem Kristall und der Faser im Lichtweg enthält.

15. Photonenkristall nach Anspruch 1, bei dem die optische Faser eine Faser (13) mit D-Profil ist.

16. Photonenkristall nach Anspruch 1, bei dem die optische Faser eine Faser (23) mit rundem Profil ist.

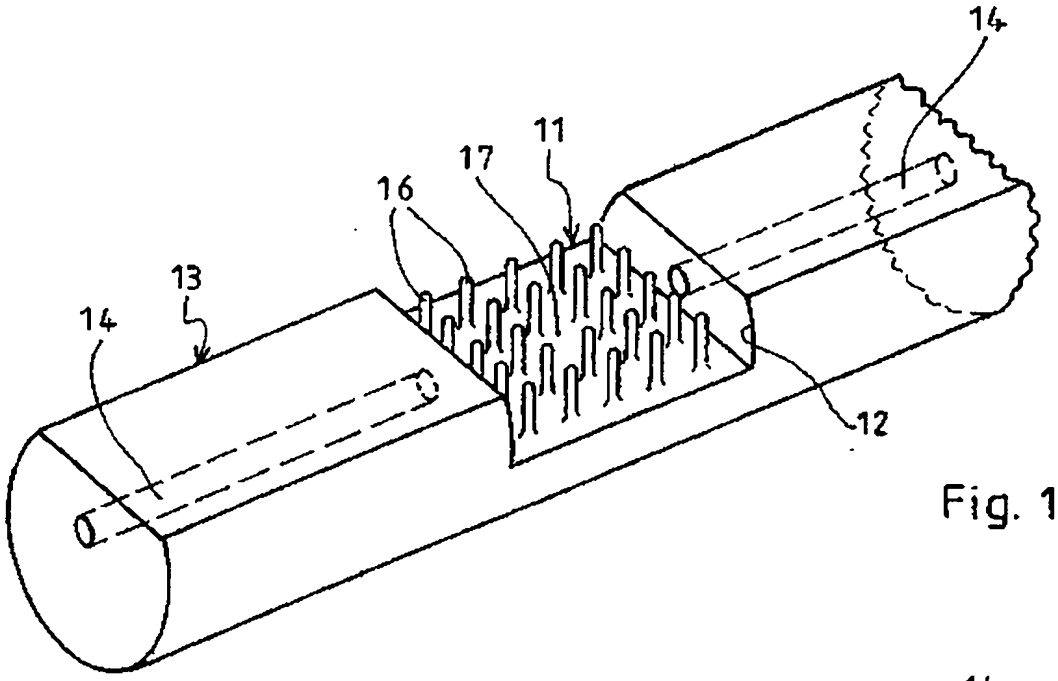



Fig. 1

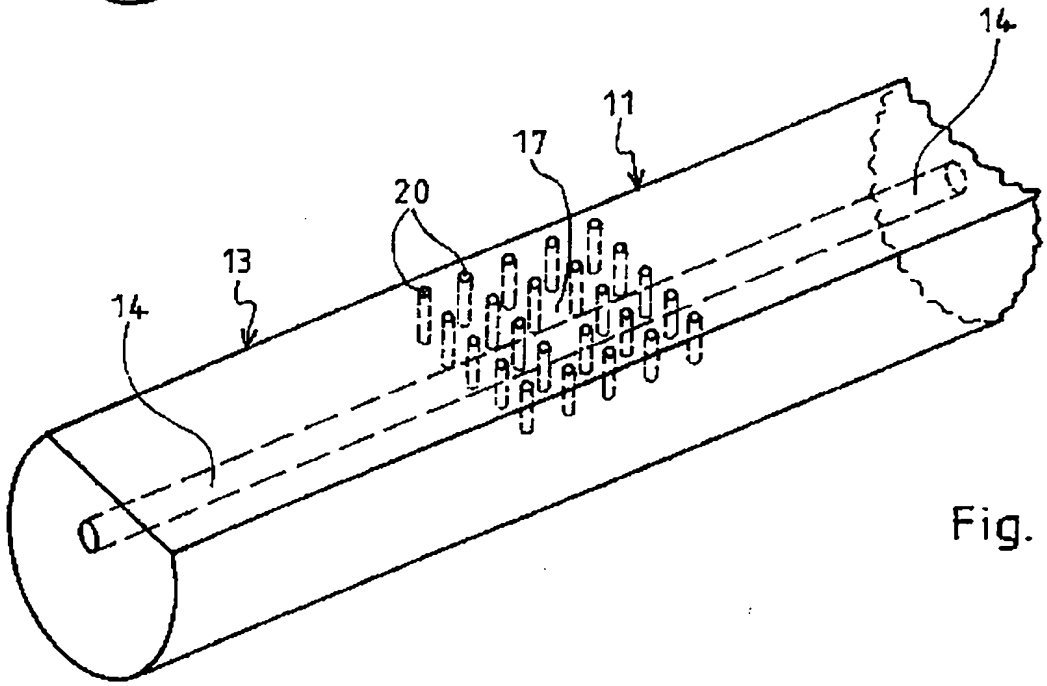



Fig. 2

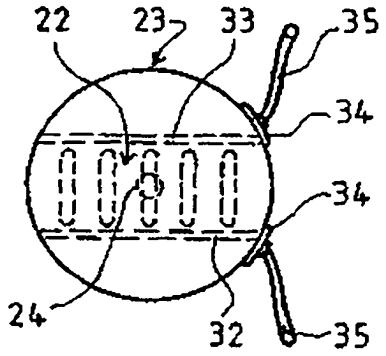



Fig. 3

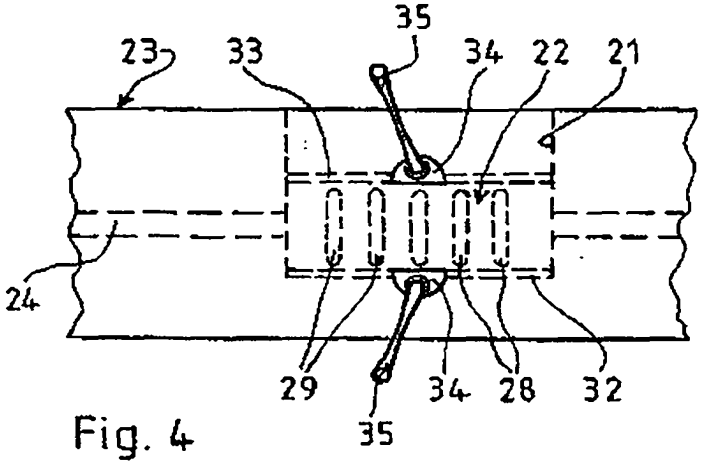



Fig. 4

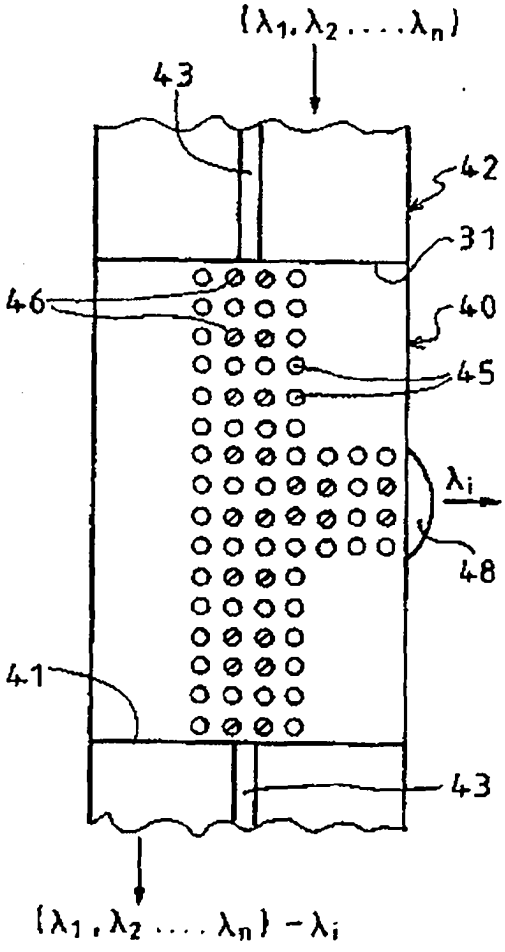



Fig. 5

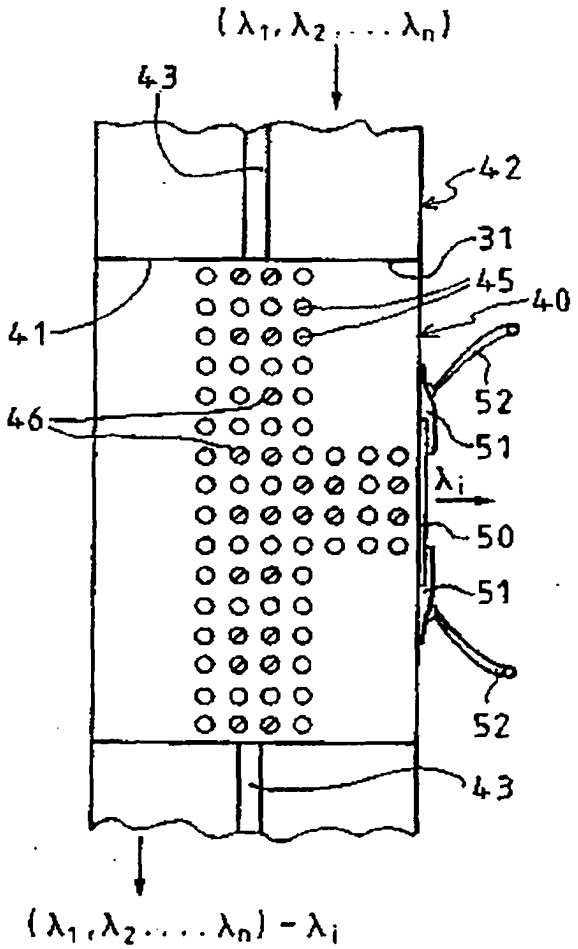



Fig. 6

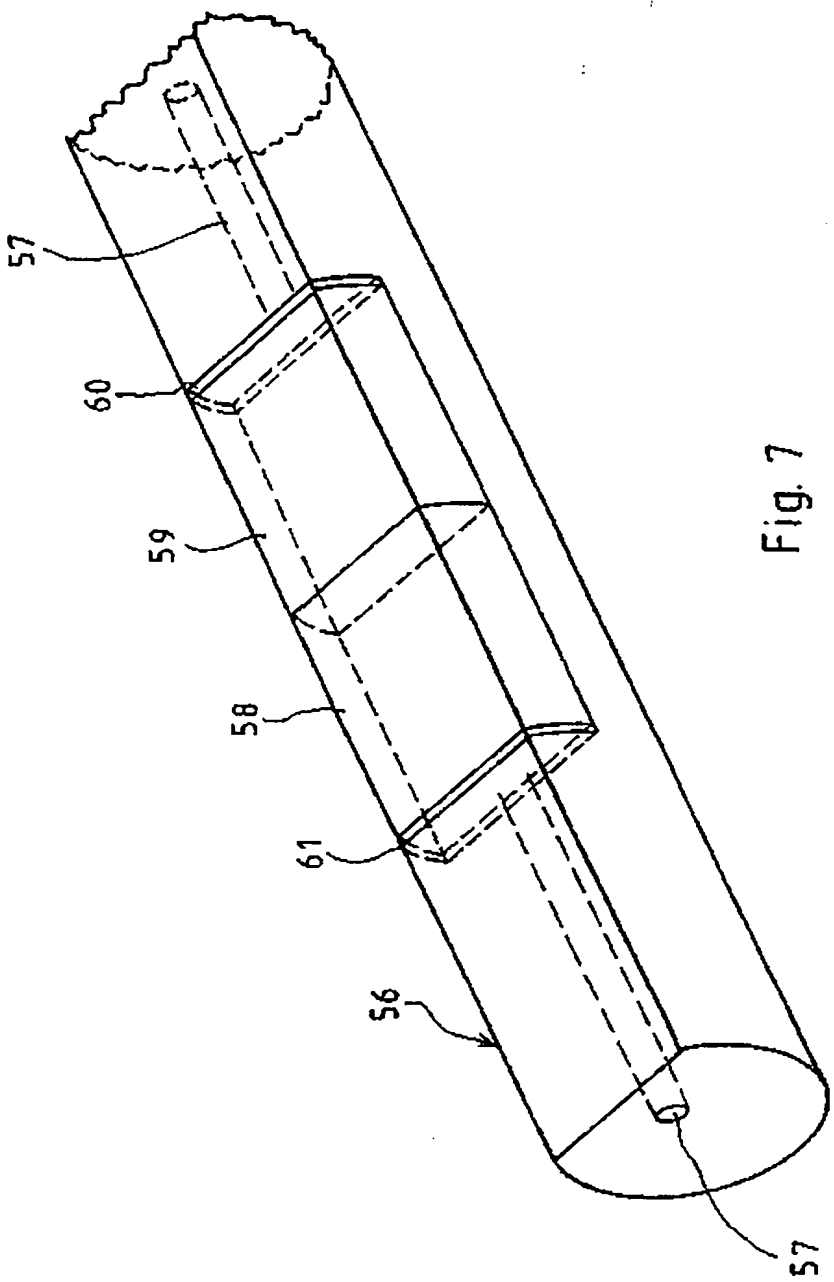



Fig. 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr tal Application No
PCT/DE 98/00905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02B6/10

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| X | KOOPS H W P: "PHOTONIC CRYSTALS BUILT BY THREE-DIMENSIONAL ADDITIVE LITHOGRAPHY ENABLE INTEGRATED OPTICS OF HIGH DENSITY" PROCEEDINGS OF THE SPIE, vol. 2849, 5 August 1996, pages 248-256, XP000617864 cited in the application see abstract; figures 6-10 see page 251 - page 255 --- | 1-14 |
| A | KNIGHT J C ET AL: "ALL-SILICA SINGLE-MODE OPTICAL FIBER WITH PHOTONIC CRYSTAL CLADDING" OPTICS LETTERS, vol. 21, no. 19, 1 October 1996, pages 1547-1549, XP000630414 see the whole document --- | 1,16 |

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C

[ ] Patent family members are listed in annex

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 11 September 1998 | 21/09/1998 |

| Name and mailing address of the ISA | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Jakober, F |

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interna al Application No
PCT/DE 98/00905

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | KRAUSS T F ET AL: "OPTICAL CHARACTERIZATION OF WAVEGUIDE BASED PHOTONIC MICROSTRUCTURES" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 68, no. 12, 18 March 1996, pages 1613-1615, XP000582346 see abstract; figure 1 | 1 |

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen
PCT/DE 98/00905

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G02B6/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| X | KOOPS H W P: "PHOTONIC CRYSTALS BUILT BY THREE-DIMENSIONAL ADDITIVE LITHOGRAPHY ENABLE INTEGRATED OPTICS OF HIGH DENSITY" PROCEEDINGS OF THE SPIE, Bd. 2849, 5. August 1996, Seiten 248-256, XP000617864 in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung; Abbildungen 6-10 siehe Seite 251 - Seite 255 --- | 1-14 |
| A | KNIGHT J C ET AL: "ALL-SILICA SINGLE-MODE OPTICAL FIBER WITH PHOTONIC CRYSTAL CLADDING" OPTICS LETTERS, Bd. 21, Nr. 19, 1. Oktober 1996, Seiten 1547-1549, XP000630414 siehe das ganze Dokument --- -/-- | 1,16 |

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[ ] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
|---|---|
| 11. September 1998 | 21/09/1998 |

| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde | Bevollmächtigter Bediensteter |
|---|---|
| Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Jakober, F |

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Interne Aktenzeichen
PCT/DE 98/00905

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| A | KRAUSS T F ET AL: "OPTICAL CHARACTERIZATION OF WAVEGUIDE BASED PHOTONIC MICROSTRUCTURES" APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 68, Nr. 12, 18. März 1996, Seiten 1613-1615, XP000582346 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 | 1 |

1